

中空コアファイバが グリーンレーザ技術に革命を起こす

チアン・フー

研究者は、レーザおよびファイバ技術において重要なブレイクスルーを達成した。これは、革新的な新しいタイプの光ファイバである中空コアファイバ(HCF)を介した高出力グリーンレーザパルスの長距離ファイバ伝送の可能性を示している。

効率的で柔軟な光伝送は、特にテレコムや産業用レーザでは、固体コア石英ガラス光ファイバが優勢だった。しかし、産業用途に不可欠な高出力レーザ光の伝送は、カー効果やコア内の誘導ラマン散乱(SRS)などの非線形プロセスや、石英ガラスの損傷しきい値により、従来のファイバでは大きな課題に直面している。これらの要因により、伝送可能なパワー密度が大幅に制限される。

中空コアファイバ(HCF)では、誘導光の>99.99%が中央の空気(または真空)で満たされたコア内に含まれるため、固体シリカコア、すなわち従来のファイバの制限を回避する。2022年、英サウサンプトン大(University of

Southampton)のチームは、1kWの連続波近赤外光($\sim 1\mu\text{m}$)を1kmの長さで伝送する新しいHCF設計の利点を実証することに成功し、この技術の可能性を示した。

最新の研究では、300mのHCFを介してキロワットピーク出力の520nmレーザパルスを伝送することにより、これらの機能を多くの産業アプリケーションに不可欠なグリーン波長に拡張した。

可視波長用のHCFの開発は、構造的特徴が小さいため、製造上の課題がある。

また、チームは、実用的な空気充填、長尺のHCFに関する包括的な非線形性研究も行った。赤外領域に対して可視域のHCFの非線形性は有意に高い。これは、ファイバコアのサイズが小さ

くなっただけでなく、動作波長が短くなったことにも起因している。この進歩は、グリーンレーザ光を高精度で効率的な材料加工に使用するための重要なステップであり、e-モビリティ製造、特にバッテリー製造などの分野に利益をもたらす。

グリーンレーザパワー伝送向け 中空ファイバ

この研究で使用したHCFは、一連の薄いガラス膜がファイバコアを取り囲み、ガイドされた光をその中に閉じ込める反共振を介して光を誘導する。これは、7つのクラッドキャピラリの1つのリングによって達成される(7つは、損失、曲げ損失、およびモダリティの優れたバランスを表している)。

このファイバは、ヘルスF300溶融石英ガラスを使用したスタックアンドドロ法で製造され、コア径は $\sim 20.7\mu\text{m}$ 、モードフィールド径は $\sim 14.5\mu\text{m}$ で、515nm \sim 618nmまでの光を<30dB/kmの損失でガイドする(図1参照)。報告されたファイバの長さは300mだが、サウサンプトンのチームはこのプロセスで定期的に数キロメートルの長さを生産している。また、このファイバは比較的曲げ損失の影響を受けにくく、520nmの動作波長で直径>13cmの曲げに対して損失は<0.1dB/mである。

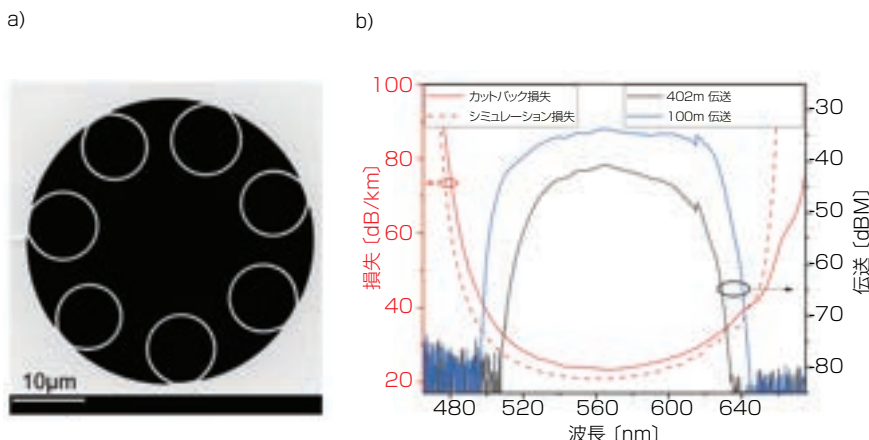


図1 走査型電子顕微鏡(SEM)画像は、HCFの断面図(a)を示している。シミュレーション損失と比較したHCFのカットバック損失も示されている(b)

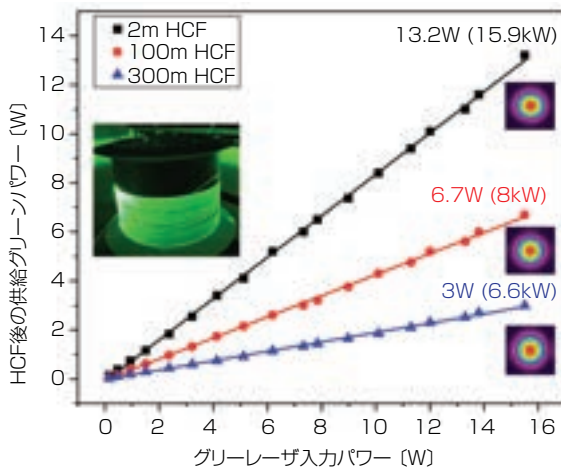


図2 グラフは、入力グリーンパワーと比較して、異なる長さのHCF(2、100、および300m)を通過した後に供給されたグリーンパワーを示している

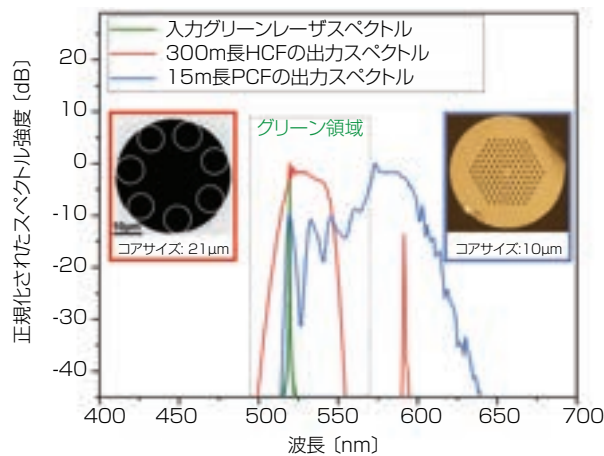


図3 長さ15mのPCFと長さ300mのHCFの出カスペクトル比較

パワー供給の結果

報告されたパワー供給実験では、内製の15.5W、520nm、周波数2倍のイッテルビウムドープファイバレーザを使用し、繰り返し周波数1.6MHz、～520psのパルス、～18kWのピークパワーを生成した。レーザビームは、ファイバに合わせて15μmのモードフィールド径に集光され、～86%の結合効率が得られる。HCF長2m、100m、300mは、それぞれ15.9、8、3.6kWのピークパワーに対応する平均出力13.2、6.7、3Wを供給することができた(図2)。

低損失で可視誘導型のHCFの登場により、スループット効率が向上し、キロメートルスケールの距離でのパワー供給が可能になると期待されてい

る。ファイバのコア内部のエネルギー密度は5.5J/cm²に達したが、ファイバに損傷は観察されなかった。精密な微細加工や長距離アプリケーションに不可欠なビーム品質は、試験されたすべての長さ(M²<1.1)で高かった。

ソリッドコアシリカファイバの非線形限界の克服

ソリッドコアシリカファイバの非線形限界は、コアサイズが小さくなる(シングルモード動作に必要)ため、可視では特に課題であり、スペクトルの大幅な広がりを引き起こす。長さ15m、コア10μmのフォトニック結晶ファイバ(PCF)と比較すると、使用したHCFと同程度の損失(同じ設定で測定)で

は、長さ300mのHCFよりも有意にスペクトルの広がりが観察され(図3参照)、非線形性の点でこれらのHCFが優れていることが明確に示された。

この研究は、HCFがレーザ光の柔軟な光ファイバ伝送で遭遇する問題を解決し、産業プロセスにおけるレーザ光の大規模な送達(特に緑色/紫外可視光)の可能性を提供するのに理想的な位置にあることを再び示している。この柔軟性は、将来のさまざまな製造コンセプトに不可欠であると考えられている。

専門家のコメント

英ヘリオット・ワット大(Heriot-Watt University)フォトンクス・量子科学研究所准教授兼国立ロボタリウム of 精密レーザ応用研究所の学術リーダーで、産業用レーザユーザー協会(AILU)副会長であるリチャード・カーター氏(Richard Carter)は、次のようにコメントしている。

「超短パルスレーザ(USP)の柔軟な供給は、産業界におけるUSP製造プロセス採用における大きな障壁を打破することになる。これらの形態の反共振中空コアファイバは、数年前から最も有望な選択肢の1つと見なされてきたが、信頼性の高い長さのファイバを線引きすることの問題により、これは実用化に時間がかかった。

サウサンプトン大の成果は、大きな飛躍を示している。このファイバは、より困難なグリーン領域でガイドできるだけでなく、明確に商業化と産業実装の準備が整っている長さや性能を備えていることが重要である」。

著者紹介

チアン・フーはサウサンプトン大のオプトエレクトロニクス研究センターのリサーチフェロー。e-mail: qiang.fu@soton.ac.uk www.orc.soton.ac.uk